



УДК 621.314.263

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**INVESTIGATION OF PARAMETERS VARIATION OF SPEED CONTROLLER ON THE FREQUENCY RESPONSES IN VECTOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM**

Плотников Юрий Валерьевич, к-т. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: yu.v.plotnikov@urfu.ru, Тел.: +7 (343) 375-46-46

Атаманкин Глеб Богданович, студент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: atamankinglebos@gmail.com, Тел.: +7 (912) 678-23-04

Iurii V. Plotnikov, candidate of technical sciences, associate professor, department of «Electric drive and automation of industrial plants and technological complexes», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: yu.v.plotnikov@urfu.ru, Тел.: +7 (343) 375-46-46

Gleb B. Atamankin, student, department of «Electric drive and automation of industrial plants and technological complexes», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: atamankinglebos@gmail.com, Тел.: +7 (912) 678-23-04

Аннотация: В статье рассматривается методика настройки преобразователя частоты на заданные показатели качества переходного процесса. Регулирование происходит за счет изменения параметров пропорционально интегрального регулятора скорости при неизменном быстродействии контура тока. Показано влияние параметров ПИ регулятора скорости на частотные характеристики векторной системы управления и показатели качества переходных процессов. Приводятся результаты моделирования и экспериментальных исследований на базе преобразователя частоты Siemens Sinamics S120. В качестве вывода предложены рекомендации для настройки контура скорости векторных систем управления с различным быстродействием.

Abstract: The article considers the method of adjusting the frequency converter on preset quality parameters of transients. Regulation is carried out by means of changing the parameters of proportional-integral speed controller at constant performance of closed-loop current controller. Influence of parameters the proportional-integral speed controller on frequency response of vector control system is shown. Results of the simulation and experimental investigations based on the frequency converter Siemens Sinamics S120 are given. Recommendations for adjust settings of closed-loop speed controller of the vector control system at different performance are proposed as a conclusion.

Ключевые слова: пропорционально-интегральный регулятор; преобразователь частоты; Sinamics S120; частотные характеристики; показатели качества переходного процесса; векторная система управления; методика настройки

Key words: proportional-integral controller, frequency converter, Sinamics S120, frequency response, quality rating of transient, vector control system, method of adjusting

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве случаев введение преобразователя частоты в эксплуатацию заканчивается только начальной автонастройкой системы. Зачастую, настроенные таким образом параметры не

удовлетворяют требуемым показателям качества переходного процесса. Соответственно, для более точной настройки и уменьшения трудоемкости операции необходимо сформировать методику настройки преобразователя на заданные

параметры качества переходных процессов. В работе рассматривается векторная система управления с косвенной ориентацией по потокоцеплению ротора, которая является двухконтурной системой автоматического управления. Внутренний контур тока настроен на максимально возможное быстродействие. Внешний контур является двухкратно-интегрирующей системой автоматического регулирования скорости с ПИ регулятором скорости. Моделирование осуществляется с учетом общепринятых допущений, описанных в [5]. На рис.1 изображена структурная схема ПИ регулятора скорости, используемая в большинстве промышленных преобразователей.

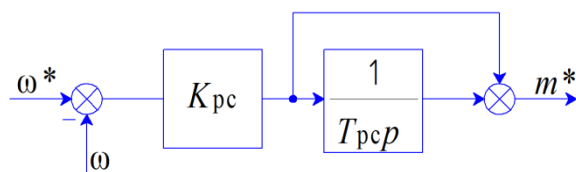


Рис. 1. Структурная схема регулятора скорости

$$K_{рс} = \frac{2T_j}{T_{рс}}, \quad (1)$$

где $T_{рс}$ – постоянная времени интегрирующего звена регулятора скорости; T_j – механическая постоянная времени.

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Из теории автоматического управления [2] известно, что оценка показателей качества переходного процесса связана с частотной характеристикой разомкнутой системы. Согласно [4], на рис.2 представим ЛЧХ разомкнутой системы контура регулирования скорости при настройке на симметричный оптимум:

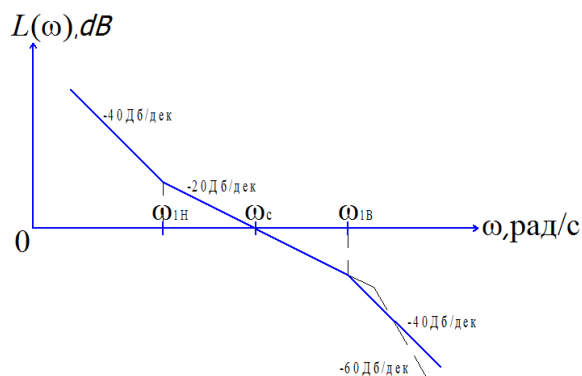


Рис. 2. ЛАЧХ разомкнутой системы контура регулирования скорости при настройке на симметричный оптимум

$$\omega_c = \frac{2}{T_{рс}}, \quad (2)$$

где ω_c – частота среза разомкнутой системы.

Для анализа влияния ЛЧХ разомкнутых систем автоматического управления на качество переходного процесса воспользуемся зависимостями, полученными в [1].

$$\sigma = 1 - \sin(\Delta\varphi), \quad (3)$$

$$t_m = \frac{\pi}{\omega_c}, \quad (4)$$

$$t_n = t_m + \frac{2}{\omega_{1Н}}, \quad (5)$$

где σ – перерегулирование; t_m – время достижения максимума; t_n – время переходного процесса; $\Delta\varphi$ – запас по фазе; $\omega_{1Н}$ – нижняя сопрягающая частота.

Для определения некомпенсированной постоянной времени снимем частотную характеристику замкнутого контура тока.

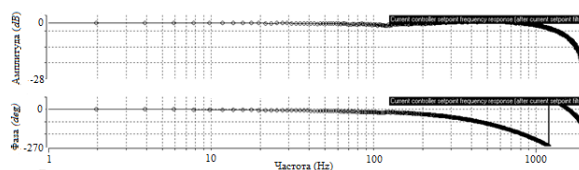


Рис. 3. ЛЧХ замкнутого контура тока

По рис.3 видно, что частота сопряжения, ограничивающая полосу пропускания контура тока, равна 1000 Гц. Из [4] известно, что некомпенсированную постоянную времени можно выразить через частоту сопряжения замкнутого контура САУ. Переведем значение частоты сопряжения в рад/с и вычислим значение некомпенсированной постоянной времени:

$$T_\mu = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \Omega_1}, \quad (6)$$

где Ω_1 – частота сопряжения замкнутого контура тока; T_μ – некомпенсированная постоянная времени; Для определения быстродействия контура скорости при настройке на симметричный оптимум введем фильтр в канал обратной связи по скорости и в канал задания скорости с постоянной времени T_ϕ [4]. Для настройки системы на симметричный оптимум рассчитаем постоянную интегрирования с учетом фильтра в канале обратной связи по скорости:

$$T_{рс} = 2T_\omega = 4(T_i + T_\phi) \approx 4T_\phi, \quad (7)$$

Коэффициент усиления регулятора скорости K_{pc1} определим, согласно (1) при настройке на симметричный оптимум. Механическая постоянная времени T_j определяется преобразователем во время процедуры идентификации параметров при вращении. Для качественной оценки влияния параметров регулятора скорости на переходные процессы двигателя при векторной системе управления в 2 раза увеличим и уменьшим коэффициент усиления регулятора скорости K_{pc} , равный 27, и постоянную времени интегрирования T_{pc} , равную 0,0809 с. Для анализа влияния частотных характеристик на переходные процессы приведем передаточную функцию разомкнутой системы ДИ САРС [4] к виду:

$$G_{\omega}(p) = \frac{K_{pc}(T_{pc}p + 1)}{T_{pc}p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}^2p + 2T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1}{T_jp} \cdot \frac{1}{T_{\phi}p + 1} \quad (8)$$

На основании передаточной функции (8) построим частотные характеристики разомкнутой системы при различных параметрах регулятора скорости, которые представлены на рис. 4.

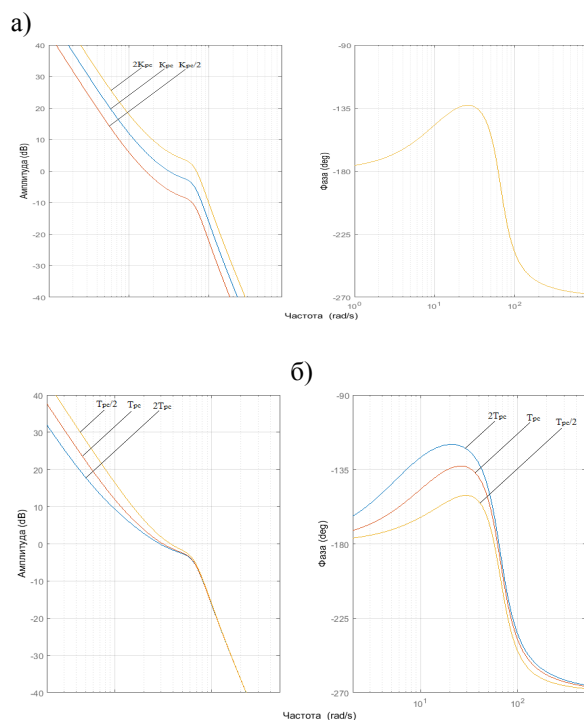


Рис. 4. ЛЧХ разомкнутой системы при различных параметрах ПИ регулятора скорости

а) при различных коэффициентах усиления регулятора скорости

б) при различных постоянных интегрирования регулятора скорости

Из рис. 4 видно, что при возрастании коэффициента усиления регулятора скорости ЛАЧХ разомкнутой системы смещается вверх, что влечет за собой увеличение частоты среза. Увеличение нижней сопрягающей частоты происходит за счет увеличения постоянной времени интегрирования регулятора скорости. Принимая во внимание зависимости (2), (3), (4) и (5), можно сделать вывод, что динамические свойства системы напрямую зависят от частоты среза разомкнутой системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для подтверждения зависимостей рассмотрим переходный процесс пуска асинхронного электропривода до скорости 100 об/мин без нагрузки. Исследуемая векторная система управления построена по принципу подчиненного регулирования [4] и включает в себя регуляторы скорости, момента, токов и потокосцепления. Для уменьшения негативного влияния перекрестных связей применяется блок компенсации. На рис. 5 приведены результаты моделирования реакции системы на единичное ступенчатое воздействие при ранее рассмотренных параметрах регулятора скорости:

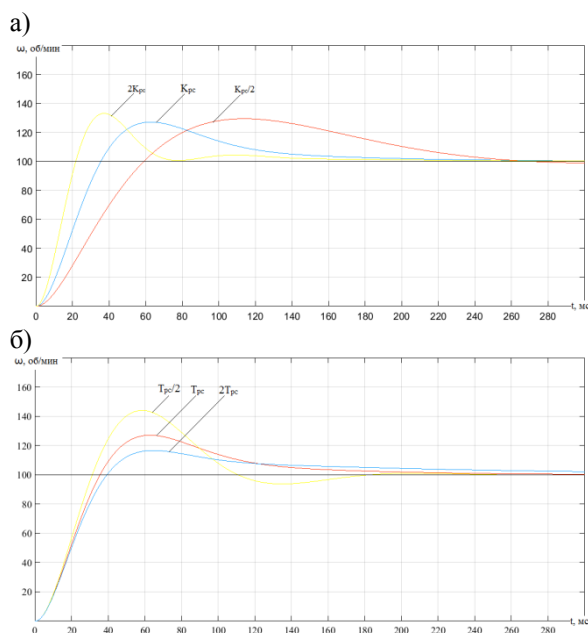


Рис. 5. Переходные процессы пуска двигателя по скорости при различных параметрах ПИ регулятора скорости

а) при различных коэффициентах усиления регулятора скорости

б) при различных постоянных интегрирования регулятора скорости

Из рис.5 видно, что при увеличении коэффициента регулятора скорости уменьшается время достижения максимума, время переходного

процесса, но возрастает величина перерегулирования, что объясняется увеличением частоты среза. Увеличение постоянной интегрирования регулятора скорости приводит к уменьшению величины перерегулирования и возрастанию времени переходного процесса, что объясняется уменьшением нижней сопрягающей частоты.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для подтверждения полученных в результате моделирования зависимостей снимем реакцию системы на ступенчатое управляющее воздействие без нагрузки и без задатчика интенсивности при регулировании с помощью преобразователя частоты Sinamics S120. Выбор параметров регулятора скорости аналогичен условиям моделирования переходного процесса пуска асинхронного двигателя без нагрузки до скорости 100 об/мин.

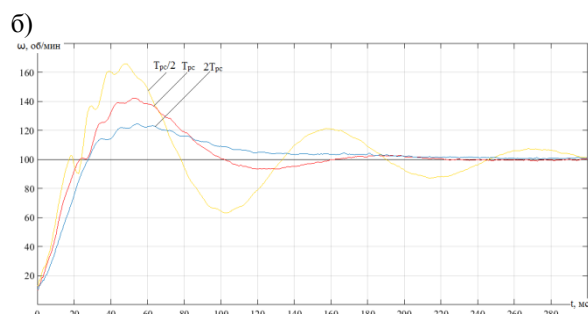
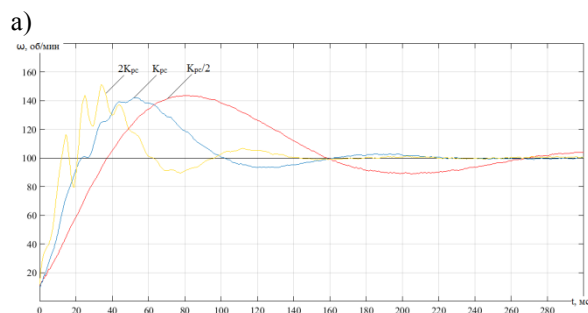


Рис. 6. Переходные процессы пуска двигателя с применением преобразователя частоты Sinamics S120 при различных параметрах ПИ регулятора скорости

а) при различных коэффициентах усиления регулятора скорости

б) при различных постоянных интегрирования регулятора скорости

Переходные процессы на рис.6 полностью подтверждают зависимости, полученные в результате моделирования переходных процессов векторной системы управления и анализа частотных характеристик при различных параметрах ПИ регулятора скорости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных зависимостей можно сформулировать методику качественной настройки промышленных преобразователей частоты на заданные параметры качества переходного процесса. На первом этапе необходимо рассчитать постоянную интегрирования и коэффициент усиления регулятора скорости, поскольку автонастройка преобразователя зачастую не удовлетворяет требуемым показателям качества переходного процесса. На втором этапе необходимо установить быстродействие системы, для этого следует изменять коэффициент усиления регулятора скорости исходя из следующих соотношений: для увеличения быстродействия контура скорости и уменьшения времени достижения максимума необходимо увеличивать значение коэффициента усиления регулятора скорости, однако следует учитывать, что при этом возрастает величина перерегулирования. Третий этап предполагает изменение величины перерегулирования при неизменном времени достижения максимума. Для уменьшения перерегулирования необходимо увеличивать постоянную интегрирования регулятора скорости, что также приведет к уменьшению времени переходного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загальский Л.Н., Зильберблат М.Э. Частотный анализ систем автоматизированного электропривода. М: «Энергия», 1968 – 112с.
2. Теория систем автоматического управления / В.А.Бесекерский, Е.П.Попов – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб: Изд-во «Профессия», 2003 – 752с.
3. Шрейнер Р.Т., Дмитренко Ю.А. Оптимальное частотное управление асинхронными приводами. Кишинев : Изд-во «Штиинца», 1982 – 223 с.
4. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. [Текст]: учеб.пособие / Р.Т.Шрейнер. Екатеринбург : Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф-пед. ун-т», 2008 – 279с.
5. Энергоэффективные режимы работы регулируемых электроприводов переменного тока: монография. В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер; под ред. Р. Т. Шрейнера. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-технический университет», 2012. 222с.
6. Siemens AG [Электронный ресурс] : Sinamics S120. Описание функций. – 2012. – 840с.
7. Siemens AG [Электронный ресурс] : Sinamics S120/S150. Справочник по параметрированию. – 2013. – 2940с.